

# Procédé et dispositif notamment de durcissement par ultrasons de pièces métalliques.

Publication number: FR2689431

Publication date: 1993-10-08

Inventor: ANATOLY KULEMIN; PATRICK FIEFFE-PREVOST

Applicant: TEKNOSON (FR)

Classification:

- international: B24C1/10; C21D7/06; B24C1/10; C21D7/00; (IPC1-7): B23P25/00; B24C1/10; B01J19/10; C21D7/06; C22F1/00

- european: B24C1/10; C21D7/06

Application number: FR19920004171 19920406

Priority number(s): FR19920004171 19920406

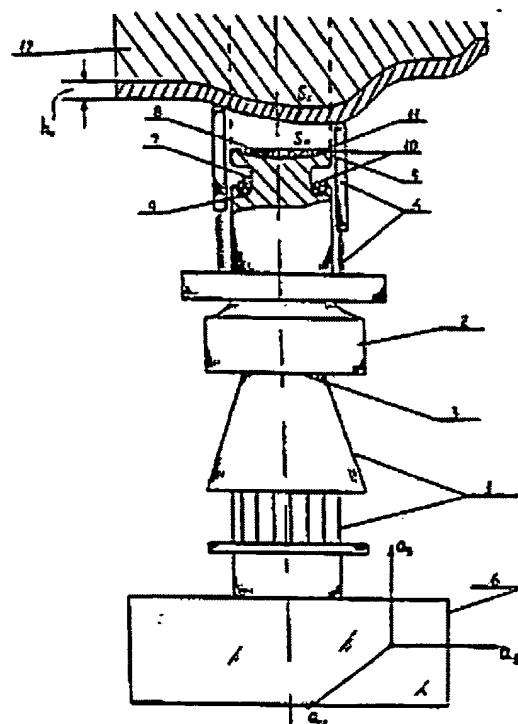
Also published as:

WO9320247 (A1)

[Report a data error here](#)

## Abstract of FR2689431

Device comprising an ultrasonic oscillation transducer (1), an acoustic transmitter (2) made from a titanium alloy, disposed in space in a given manner and connected to the transducer (1) by means of a contact surface (3), a work chamber (4) and a reflector (5). The device further comprises a mechanism (6) for displacing the emitter (2) in three dimensions perpendicular to one another. The transducer (1) consists of piezoceramic disks, the transmitter (2) consists of components forged in titanium with high temperature annealing and stabilizers, the transmitter (2) being coupled to the transducer (1) by means of a contact surface (3) of at least 85 % of the global contact surface. The work chamber (4) is in the form of a hollow tube reproducing, by its perimeter, the shape of the operative end of the transmitter (2) with walls formed by spring-mounted rods which, during the displacement of the transmitter (2) with the work chamber (4), reproduce the contour of the surface to be hardened.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 06.04.92.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 08.10.93 Bulletin 93/40.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : Se reporter à la fin du présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : Société dite: TEKNOSON — FR.

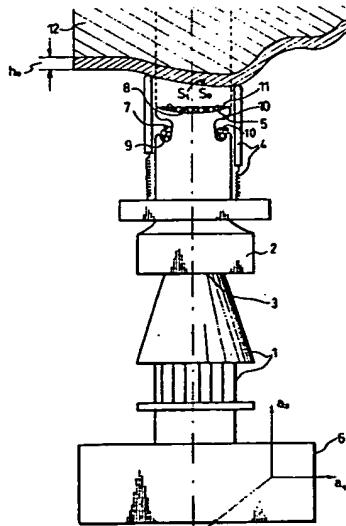
(72) Inventeur(s) : Kulemin Anatoly et Fieffe-Prevost  
Patrick.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Cabinet Boettcher.

(54) Procédé et dispositif notamment de durcissement par ultrasons de pièces métalliques.

(57) Ce dispositif comprend un transducteur (1) d'oscilla-  
tions ultrasonores, un émetteur acoustique (2) réalisé en  
alliage de titane, disposé dans l'espace d'une manière dé-  
terminée et relié au transducteur (1) par une surface de  
contact (3), une chambre de travail (4) et un réflecteur (5).  
Il comporte en outre un mécanisme (6) de déplacement de  
l'émetteur (2) dans trois dimensions perpendiculaires les  
unes aux autres, le transducteur (1) est réalisé en disques  
piézocéramiques, l'émetteur (2) est réalisé en pièces for-  
gées en alliage de titane avec des recuits à température  
élevée et stabilisateurs, la liaison de l'émetteur (2) avec le  
transducteur (1) est réalisée par une surface de contact (3)  
d'au moins 85 % de la surface globale de contact et la  
chambre de travail (4) est réalisée sous forme d'un tube  
creux reproduisant par son périmètre le contour de l'extré-  
mité de travail de l'émetteur (2) avec des parois formées de  
tiges montées sur ressorts qui lors du déplacement de  
l'émetteur (2) avec la chambre de travail (4) reproduisent le  
relief de la surface à durcir.



La présente invention concerne le domaine du durcissement des métaux par déformation plastique superficielle et saturation par des métaux et des corps non métalliques à l'aide de sources concentrées d'énergie, 5 concrètement de puissants ultrasons et peut être utilisée dans les secteurs de l'aviation, de l'automobile, de la construction de machines outils et dans d'autres secteurs de la construction de machines.

On connaît un procédé de durcissement superficiel de pièces par traitement au moyen de billes d'acier mises en mouvement par un champ ultrasonore dans un volume fermé, pendant un temps prédéterminé, dans le but d'accroître la qualité du traitement par réduction de la rugosité et accroissement de la régularité de déformation 10 des surfaces traitées (voir S.U n° 1 391 135).

Un inconvénient du procédé indiqué réside dans la limitation des dimensions des pièces traitées et dans un rendement relativement faible du processus. Le procédé 15 ne prévoit pas le traitement de pièces de grandes dimensions et le déplacement par un moyen quelconque du champ ultrasonore sur la surface traitée.

L'inconvénient indiqué est partiellement supprimé lors de l'utilisation d'un autre procédé de durcissement de surfaces de pièces en particulier de la surface 20 interne de tuyaux, comprenant le traitement à l'aide de billes d'acier mises en mouvement par un guide d'ondes ultrasonores, avec répartition d'une poudre dans un milieu gazeux dans la chambre de travail, la pièce (tuyau) étant soumise à un mouvement de translation dans une direction 25 par rapport au guide d'ondes avec une vitesse donnée, dans le but d'accroître les possibilités technologiques par 30 traitement de tuyaux de grande longueur (SU. N° 1 655 997).

Un inconvénient du procédé indiqué réside dans 35 le fait qu'il ne permet pas de traiter des pièces ayant

des configurations complexes dans l'espace dans toutes les directions.

En outre, le déplacement de la pièce par rapport à la source acoustique n'est pas toujours possible en 5 raison par exemple de la masse et des dimensions importantes de celle-ci.

La vitesse de déplacement de la pièce indiquée dans le procédé permet de créer un traitement uniforme de la cavité intérieure d'un tuyau rond, mais elle n'indique 10 pas de possibilités de créer une surface avec des propriétés mécaniques et physiques données : rugosité, profondeur de la couche durcie, réduction du bruit des vibrations, résistance à l'usure.

Le procédé indiqué en second lieu ne donne pas 15 de possibilité d'un traitement de pièces telles que des corps de révolution, par exemple d'arbres.

Dans le procédé indiqué en second lieu, on prévoit le traitement dans une chambre remplie d'air qui présente une résistance importante au déplacement des 20 billes dans le champ ultrasonore, ce qui réduit le rendement du processus.

Le procédé indiqué en second lieu ne prévoit pas 25 non plus l'utilisation de poudres de polymères, dont l'utilisation pour recouvrir les pièces peut donner une nouvelle qualité de surface, par exemple, une réduction du bruit de vibrations en exploitation.

Le procédé indiqué en second lieu, présente néanmoins un plus grand nombre de qualités substantielles 30 communes et constitue le procédé le plus proche du procédé suivant l'invention en ce qui concerne ses propriétés techniques et le résultat qu'il permet d'atteindre.

On connaît un dispositif pour le durcissement 35 des surfaces de pièces métalliques par ultrasons comprenant un transducteur magnétostrictif d'oscillations ultrasonores, un émetteur constitué d'un alliage de

titane, disposé horizontalement et relié au transducteur, une chambre de travail et un réflecteur.

Un inconvénient du dispositif précité réside dans le fait qu'il ne permet pas de traiter de pièces de 5 configuration complexe et de dimensions spatiales importantes, car un déplacement de la zone de travail dans l'espace selon une trajectoire complexe n'est pas prévu.

Le dispositif présente un rendement relativement faible, car, premièrement dans le dispositif, on utilise 10 un transducteur magnétostrictif ayant un rendement relativement faible et deuxièmement, l'émetteur acoustique est réalisé en un alliage de titane sans traitement thermique spécial.

Il en résulte que les émetteurs acoustiques dans 15 le dispositif cité en second lieu, ne permettent pas de développer des amplitudes d'oscillations supérieures à 100 $\mu$ m et sont rapidement détruits par fatigue.

En outre, lors du traitement de surfaces internes dans le second dispositif, on utilise un réflecteur, 20 ce qui complique la construction et rend impossible de traiter des orifices borgnes (fermés à une extrémité).

Néanmoins, le dispositif décrit en second lieu, se trouve être le plus proche du dispositif selon l'invention du point de vue technique et du point de vue du 25 résultat atteint.

Le but de la présente invention est l'augmentation du rendement du processus, l'élargissement des possibilités technologiques par traitement de surfaces de pièces de grandes dimensions et de profils complexes, la 30 création de propriétés mécaniques déterminées d'une surface à durcir ainsi que l'accroissement du coefficient d'utilisation du dispositif par augmentation de l'intensité de l'oscillation de l'émetteur.

L'invention a donc pour objet un procédé de 35 durcissement de surfaces de pièces métalliques au moyen

d'ultrasons, comprenant un traitement au moyen de billes de métal qui reçoivent de l'énergie d'un champ ultrasonore prenant naissance dans un espace fermé entre les surfaces d'un émetteur acoustique, d'une pièce et d'une chambre de travail remplie d'un milieu gazeux déterminé et un déplacement relatif entre la pièce et l'émetteur assuré de manière déterminée, caractérisé en ce que dans le but d'accroître le rendement du processus et d'élargir les possibilités technologiques du traitement des surfaces de pièces de grandes dimensions et de profil complexe, ainsi que de la création de propriétés mécaniques déterminées de la surface à durcir, le déplacement relatif est assuré en communiquant au radiateur une vitesse déterminée dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres.

L'invention a également pour objet un dispositif pour le durcissement de surfaces de pièces métalliques par ultrasons, comprenant un transducteur d'oscillations ultrasonores de type déterminé, un émetteur acoustique réalisé et fabriqué en alliage de titane et disposé dans l'espace d'une manière déterminée et relié au transducteur par une surface de contact de valeur déterminée, une chambre de travail réalisée de manière déterminée et un réflecteur, caractérisé en ce que dans le but d'accroître le coefficient d'utilisation du dispositif par augmentation de l'intensité des oscillations de l'émetteur et de l'élargissement des possibilités technologiques du traitement de pièces de grandes dimensions et de profil complexe, le dispositif comporte en outre un mécanisme de déplacement de l'émetteur dans trois dimensions perpendiculaires les unes aux autres, le transducteur est réalisé en disques piézocéramiques, l'émetteur est réalisé en pièces forgées en alliage de titane avec des recuits à température élevée et stabilisateurs, la liaison de l'émetteur avec le transducteur est réalisée par l'intermédiaire d'une surface de contact qui constitue au moins

85% de la surface globale de contact tandis que la chambre de travail est réalisée sous forme d'un tube creux reproduisant par son périmètre le contour de l'extrémité de travail de l'émetteur avec des parois formées de tiges montées sur ressorts qui permettent lors du déplacement de l'émetteur avec la chambre de travail de reproduire le relief de la surface à durcir.

5 L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre 10 d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés, sur 15 lesquels :

- la Fig.1 est une vue schématique en coupe partielle du dispositif de durcissement de surfaces de 20 pièces métalliques suivant l'invention appliquée au traitement 15 d'un moule;

- la Fig.2 est une vue schématique en perspective du dispositif de durcissement suivant l'invention appliquée à un corps de révolution de section variable; et 25 - la Fig.3 est une vue schématique du dispositif de durcissement suivant l'invention appliquée au traitement d'engrenages.

1 - Le procédé de durcissement des surfaces de pièces à l'aide d'ultrasons suivant l'invention est représenté schématiquement aux Fig.1 à 3.

25 Sur les dessins, on a représenté ce qui suit :  
Le numéro de référence 1 représente un transducteur piézo-électrique d'oscillations ultrasonores, le 30 numéro de référence 2 représente un émetteur acoustique en alliage de titane, le numéro de référence 3 représente une surface de contact entre le transducteur et l'émetteur, 4 représente une chambre de travail formée de tiges à rappel élastique, 5 représente un réflecteur, 6 représente un mécanisme de déplacement de l'émetteur dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres avec des 35 vitesses déterminées, 7 représente une gorge de l'émet-

teur, 8 et 9 sont des évidements pour la réception de billes d'acier 10 et d'une poudre 11, la référence 12 représente une pièce, sur la Fig.1, la pièce est un moule, sur la Fig.2 la pièce est un arbre, sur la Fig.3, la pièce 5 est une roue dentée, par exemple un pignon.

Il résulte des figures 1 à 3 que l'émetteur acoustique 2 présente trois degrés de liberté et peut se déplacer dans l'espace selon une trajectoire la plus complexe en traitant des pièces de dimensions pratiquement 10 illimitées, ce qui constitue un avantage substantiel en comparaison avec le procédé prévu exposé en second lieu.

2 - Ainsi que l'ont montré les recherches du Demandeur, un paramètre fondamental qui détermine la qualité de la surface durcie, est la vitesse avec laquelle 15 l'émetteur acoustique est déplacé le long de la surface traitée.

En fonction de la vitesse, on peut obtenir soit une rugosité déterminée, soit une profondeur déterminée de la couche durcie. Cependant, le paramètre fondamental qui 20 détermine la qualité de la surface durcie est la régularité du traitement. La discussion et les déductions qui vont suivre reposent sur le fait qu'une bille, en se déplaçant dans une chambre de travail, reçoit une énergie cinétique de l'émetteur oscillant. Si la fréquence des 25 oscillations est  $f_0$  et l'amplitude des oscillations  $A_0$ , alors la vitesse de déplacement de l'extrémité active de l'émetteur est  $V_k = -2\pi f_0 A_0$ . Lors de l'entrée en contact d'une bille avec l'extrémité de l'émetteur, elle reçoit 30 une vitesse  $V_0 = -2 V_k$  à condition que la masse de la bille soit considérablement moins importante que la masse  $M$  de l'émetteur, ce qui est pratiquement toujours respecté. Par régularité de traitement de surface, il faut entendre que n'importe quelle partie de cette surface sera 35 recouverte d'empreintes plastiques résultant de chocs de billes, c'est à dire que n'importe quel point de la

surface doit avoir été frappé ne serait-ce qu'une seule fois par une bille.

Il a été établi par le Demandeur que le temps pendant lequel toute la surface  $S_1$  (Fig.1) de la pièce sera recouverte d'empreintes plastiques résultant de chocs de billes, dont le nombre est  $n$ , est donné par la relation:  $\tau_0 = \frac{L(S_0+S_1)}{(A_0R_0)^2 n} \sqrt{\frac{80,2}{\rho}} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}$  (1)

dans laquelle  $L$  est la distance entre la surface de l'émetteur et la surface de la pièce dans la zone de traitement,  $S_0$  et  $S_1$  sont les surfaces respectives de l'extrémité de travail de l'émetteur et de la surface traitée.  $R_0$  est le rayon des billes,  $80,2$  est la limite de fluage du matériau de la pièce,  $\rho$  est la masse spécifique du matériau des billes. Pour un traitement uniforme d'une région de largeur égale à la largeur de l'émetteur (désignée par la suite par  $b_i$ ) dans une direction  $a_i$ , il est indispensable que la vitesse  $v_i$  soit donnée par la relation :  $v_i = \frac{a_i}{\tau_0} = \frac{4 \cdot 10^2}{L(S_0 + S_1)} \frac{a_i (A_0 R_0)^2 n}{\sqrt{\frac{\rho}{80,2}}}$  (2)

où  $i = 1, 2, 3$  sont les numéros des directions perpendiculaires selon les plans,  $a_i$  est la dimension linéaire de la source de rayonnement dans la direction  $i$ .

Si la vitesse de déplacement de l'émetteur est supérieure à  $v_i$ , alors la surface ne sera pas totalement recouverte d'empreintes plastiques.

Si la vitesse de déplacement est inférieure à  $v_i$ , la surface subit un écrouissage excessif (pelage); en d'autres termes dans les deux cas, il se produit une réduction de la qualité de la surface. Le respect de la valeur proposée de la vitesse de déplacement  $v_i$  de l'émetteur permet d'obtenir un bon durcissement superficiel de la pièce.

3. Les recherches du Demandeur ont permis d'établir que pour la création d'une rugosité déterminée

(pureté), une surface, qui est caractérisée numériquement par un écart constitué par la moyenne arithmétique du profil de la surface  $R_a$ , il est indispensable qu'une bille frappe la surface avec une vitesse :

5

$$V = \frac{1,6\pi R_a}{R_0} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}} \quad (3)$$

10 ceci signifie qu'on doit communiquer au radiateur une vitesse de déplacement dans une direction  $ai$  égale à :

15

$$V_i R_a = 64 \frac{a_{in} \cdot R_a^2}{L(S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}} \quad (4)$$

L'amplitude des oscillations de l'extrémité de travail de de l'émetteur doit être égale à :

20

$$A_0 = 0,4 \frac{R_a}{R_0 f_0} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}}$$

Si la vitesse de déplacement de l'émetteur est inférieure à la vitesse  $V_i R_a$ , alors premièrement il y aura un écrouissage de la surface, (voir 2) et deuxièmement la rugosité  $R_a$  sera supérieure à celle requise; si au contraire, la vitesse de déplacement de l'émetteur est supérieure à  $V_i R_a$ , alors la rugosité sera inférieure au  $R_a$  demandé et la surface ne sera pas durcie de façon uniforme.

4. L'une des caractéristiques les plus importantes de la déformation plastique superficielle est la profondeur de la couche durcie  $h_0$ . Par cette grandeur, on entend la profondeur à laquelle la micro-dureté ou la contrainte superficielle de compression n'ont pas diminué plus de  $e$  fois les valeurs maximales de la micro-dureté ou des contraintes à proximité de la surface.

Des recherches ont établi que pour la création d'une profondeur  $h_0$  d'une couche durcie, il est indispen-

sable de communiquer à une bille d'acier de rayon  $R_0$  ayant une masse spécifique  $\rho$ , une vitesse égale à :

$$5 \quad V = \frac{2\pi h_0^2}{21R_0^2} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}} \quad (5)$$

Dans ce cas, il est indispensable de communiquer au radiateur, une vitesse de déplacement dans la direction  $ai$ , égale à :

$$10 \quad V_{iho} = 0,2 \frac{a_i nh_0^4}{L(S_0+S_1)R_0^2} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}} \quad (6)$$

L'amplitude des oscillations de l'émetteur doit 15 être égale à :

$$20 \quad A_0 = \frac{h_0^2}{42R_0^2 f_0} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}} \quad (7)$$

Si la vitesse de déplacement de l'émetteur est supérieure à  $Viho$ , alors la profondeur de la couche durcie n'atteint pas la valeur  $h_0$  sur toute la surface et si elle est inférieure, alors a lieu un écrouissage excessif et un 25 accroissement de la profondeur au-delà de la valeur  $h_0$  demandée.

En outre, le rendement du processus diminue et la dépense d'énergie augmente.

30 5. La présente invention permet d'élargir les possibilités technologiques des procédés de durcissement d'une surface par ultrasons par traitement des pièces du type corps de révolution, par exemple des arbres, des disques et autres, ce qui n'est pas supposé dans le procédé connu.

35 Le traitement de corps de révolution par ultrasons est mis en oeuvre selon le chemin représenté à la Fig.2. En principe, le schéma de la Fig.2 constitue un cas particulier du schéma général représenté à la Fig.1.

Des pièces, telles que des pièces de révolution, peuvent avoir un diamètre constant  $D_0$ , un diamètre étagé avec des passages brusques d'un diamètre  $D_1$  à un autre  $D_2$  et avec une variation progressive de diamètre  $D(x)$  comme cela est représenté à la Fig.2.

Dans le cas général, si la variation du diamètre le long de la pièce peut être décrite sous forme d'une fonction :

$$D(x) = D_0 \psi(x), \quad (8)$$

10 dans laquelle  $D_0$  est le diamètre de l'extrémité de la pièce à partir de laquelle commence le traitement,  $\psi(x)$  est la fonction de variation du diamètre, par exemple du type  $\sin Kx$ ,  $e^{-\alpha x}$ ,  $Ax$  et autres, alors pour un durcissement uniforme de toute la surface, il est indispensable de 15 communiquer au radiateur, une vitesse de translation qu'il est nécessaire de modifier avec la variation du diamètre selon la relation :

$$20 \quad V_i(x) = 4 \cdot 10^2 \frac{S_0 (A_0 R_0 f_0)^2 n}{\pi L D_0 \psi(x) (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}} \quad (9)$$

Il est alors indispensable de faire tourner la pièce en modifiant la vitesse annulaire selon la relation:

$$25 \quad \omega(x) = 8 \cdot 10^2 \frac{B_i (A_0 R_0 f_0)^2 n}{D_0 \psi(x) L (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}} \quad (10)$$

L'exemple décrit est commode lors du traitement de pièces soit d'un diamètre constant, soit d'un diamètre variable par degré. Lors d'une variation continue du diamètre de la pièce, par exemple ayant la forme d'un cône, d'une exponentielle ou d'autres formes continues, il est plus pratique de procéder par exemple comme le propose le Demandeur, en modifiant de façon continue l'amplitude d'oscillations au cours du processus de traitement selon la relation :

$$A(x) = A_0 \sqrt{\psi(x)} \quad (11)$$

5 dans laquelle  $A_0$  est l'amplitude des oscillations de l'émetteur lors du traitement à l'extrémité de la pièce, c'est à dire avec  $x = 0$  (voir Fig.2),  $\psi(x)$  est la fonction de variation du diamètre selon l'axe de la pièce (dans le cas présent l'axe  $x$ ).

La modification de l'amplitude est facile à réguler ou à imposer à l'aide d'un programme de modification de la puissance électrique de sortie du générateur.

10 Dans les cas où il est indispensable de conserver constante la vitesse de déplacement de l'émetteur, la vitesse angulaire de rotation et de l'amplitude d'oscillations pour un traitement uniforme d'une pièce de diamètre variable, il est pratique d'adopter la solution technique de la variation de la distance entre la surface de l'extrémité utile de l'émetteur et la surface de la pièce soumise au durcissement, la variation devant être régit 15 par la relation :

$$20 \quad L(x) = L_0 \frac{1}{\psi(x)} \quad (12)$$

dans laquelle  $L_0$  est la distance entre l'émetteur et la pièce lors du traitement à l'extrémité de la pièce, c'est à dire avec  $x = 0$ .

25 Si l'émetteur et la pièce se déplacent et tournent respectivement avec des vitesses inférieures à  $v_i(x)$  et  $\omega(x)$  alors il se produit un écrouissage excessif de la surface et un pelage; si les vitesses correspondantes sont supérieures à  $v_i(x)$  et  $\omega(x)$ , alors la surface est 30 traitée de façon non uniforme et il subsiste des zones non durcies par ultrasons.

35 De manière analogue, si l'amplitude des oscillations est supérieure à la valeur  $a(x) = a_0 \sqrt{\psi(x)}$  pour une section  $x$  donnée, alors la force des chocs des billes est suffisamment importante et il se produit un écrouissage excessif de la surface (pelage); avec une amplitude inférieure à  $a(x) = a_0 \sqrt{\psi(x)}$  pour une section déterminée  $x$ ,

la force des chocs des billes est relativement faible et la surface est traitée de façon non uniforme.

Pour une faible distance entre la surface d'extrémité de l'émetteur et la surface de la pièce L,  
 5 c'est à dire inférieure à  $L(x)=L_0 1/\psi(x)$  pour une section déterminée x a lieu un écrouissage excessif de la surface (pelage) et pour une valeur supérieure à  $L(x)$  pour  $x=\text{constante donnée}$ , le traitement sera uniforme sur toute la surface en raison de la réduction du nombre de chocs de  
 10 billes.

8. Dans le processus de traitement ultrasonore, les corps actifs (billes d'acier) sont déplacés de façon intensive sous l'action d'un champ ultrasonore dans un milieu gazeux remplissant une chambre de travail. Dans le  
 15 procédé connu, comme milieu précité, on utilisait l'air atmosphérique.

Une bille en se déplaçant dans un milieu gazeux avec une vitesse  $V$  rencontre une résistance :

$$F_1 = -V \cdot 6\pi\mu R_0 = -24\pi^2\mu R_0 f_0 A_0 \quad (13)$$

20 où  $\mu$  est la viscosité du gaz.

De la relation (13), il résulte que moins la viscosité du milieu est importante, plus est petite la force qui agit sur la bille. La réduction de la vitesse lors du déplacement d'une bille pendant un temps  $\tau_0$  est  
 25 déterminée par l'expression :

$$V = 4\pi f_0 A_0 e^{-6\pi\mu R_0 \tau_0 / m} \quad (14)$$

où  $m$  est la masse d'une bille.

Ainsi, pour augmenter la vitesse de déplacement d'une bille dans une chambre, il est nécessaire de la remplir de gaz ayant une viscosité inférieure à celle de l'air qui remplit la chambre dans le procédé connu et qui a une viscosité  $\mu = 185 \mu\text{P}$  (micropoise).

Des courants acoustiques et une pression de rayonnement déplacent les billes dans le volume, et leur  
 35 communiquent une vitesse complémentaire. La force maximale

de la pression de rayonnement agissant sur une bille est égale à :

$$5\pi^2 R_0^3 \\ F_2 = \frac{5\pi^2 R_0^3}{3\lambda} \rho_0 (4\pi A_0 f_0)^2 \quad (15)$$

5

dans laquelle  $\rho_0$  est la masse spécifique du gaz,  $\lambda$  est la longueur d'onde, de l'ultrason dans le gaz.

Il résulte de la relation (15) que plus la masse spécifique  $\rho$  est importante, plus la force  $F_2$  l'est. Par conséquent, il est logique de remplir la chambre d'un gaz ayant une masse spécifique aussi importante que possible. Dans le procédé connu, il s'agit de l'air et  $\rho = 1,29 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup> et par conséquent pour accroître l'intensité de durcissement, il est indispensable de remplir la chambre d'un gaz dont la masse spécifique  $\rho$  répond à la relation  $\rho > 1,29 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>. Comme cela est indiqué par le Demandeur, la valeur de la vitesse maximale des courants acoustiques est :

20

25

$$V_n = \frac{3(4\pi f_0 A_0)^2}{16C} \quad (16)$$

dans laquelle  $C$  est la vitesse du son dans le milieu gazeux.

30

De la relation (16), on tire que plus la vitesse du son est faible, plus la vitesse des courants est forte. Par conséquent, pour l'augmentation de l'intensité du durcissement, il est indispensable de remplir la chambre d'un gaz ayant une vitesse du son aussi faible que possible.

35

Dans le procédé connu,  $C = 3,31 \cdot 10^4$  cm/s, il est alors logique de remplir la chambre d'un gaz dont  $C < 3,31 \cdot 10^4$  cm/s. Comme l'ont montré les recherches, un gaz satisfaisant aux relations  $\mu < 185 \mu P$ ,  $\rho > 1,29 \cdot 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup> et

$C < 3,31 \cdot 10^4$  cm/s est le bioxyde de carbone (gaz carbonique) ainsi qu'un certain nombre de gaz (voir tableau 1).

5 Ainsi, le traitement des pièces en milieu gazeux avec les propriétés indiquées permet d'accroître le rendement du processus de durcissement.

9. Dans le procédé connu, on introduisait dans la chambre de travail, une poudre métallique de type bisulfure de molybdène dans le but d'allier la surface avec son lubrifiant.

10 15 Dans le procédé suivant l'invention, il est proposé d'introduire dans la chambre une poudre d'un composé du type Téflon, une matière plastique fluorée et autres pour revêtir la surface en vue de réduire le bruit des vibrations lors de l'utilisation des pièces de type roue dentée et pignon.

Dans le cas présent, l'introduction de la poudre indiquée permet d'obtenir une propriété physique nouvelle, c'est à dire la réduction du bruit vibratoire.

20 25 Le dispositif suivant l'invention est représenté à la Fig.1. Ici 1, désigne un transducteur d'oscillations ultrasonores, 2 un émetteur acoustique, 3, une surface de contact entre le transducteur et l'émetteur, 4, une chambre de travail formée de tiges montées élastiquement, 5, un réflecteur, 6, un mécanisme de déplacement de l'émetteur dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres avec des vitesses déterminées, 7, une gorge prévue sur l'émetteur, 8 et 9, des évidements pour loger des billes d'acier 10 et de la poudre 11.

30 35 Le mécanisme de déplacement de l'émetteur acoustique dans le dispositif suivant l'invention permet contrairement au dispositif connu décrit en second lieu, de traiter par ultrasons des pièces de surface les plus diverses et de dimensions pratiquement illimitées.

Le transducteur est réalisé en céramique piézo-électrique à la différence des transducteurs magnétostri-

tifs du dispositif connu et permet d'accroître le coefficient d'utilisation du dispositif de 1,5 à 2 fois, en raison de plus faibles pertes et d'une meilleure qualité des transducteurs piézo-électriques. En outre, les transducteurs piézo-électriques ne nécessitent pas de refroidissement à l'eau.

Bien que l'utilisation des transducteurs piézo-électriques ultrasonores soit largement connue, dans les dispositifs pour le durcissement superficiel du type décrits plus haut, cette utilisation est nouvelle.

Dans les descriptions connues de dispositifs de durcissement des pièces par ultrasons, on ne donne aucune recommandation pour la réalisation des radiateurs acoustiques. Dans le dispositif décrit en second lieu, on indique que l'émetteur est réalisé en un alliage de titane. Cependant, il a été établi par le Demandeur que pour présenter les propriétés fondamentales d'un émetteur acoustique, c'est à dire d'une forte amplitude d'oscillations (supérieure à 100  $\mu\text{m}$ ) et une forte résistance à la fatigue, il est indispensable de réaliser l'émetteur en pièces forgées d'alliage de titane, ces pièces devant, avant le forgeage, subir un recuit isothermique en deux stades après quoi, l'émetteur est réalisé surdimensionné et sans pratiquer de filetage et ensuite on réalise un recuit isothermique de stabilisation et seulement après ces opérations, on réalise le filetage. L'émetteur est réalisé strictement selon les côtes et est poli.

Les émetteurs réalisés de la manière indiquée permettent d'atteindre une amplitude d'oscillations à leurs extrémités de travail pouvant aller jusqu'à 150  $\mu\text{m}$ , ce qui accroît le rendement du processus de durcissement (vitesse de traitement) de 2 à 3 fois. En outre, le nombre de cycles avant la destruction avec les amplitudes indiquées, est augmenté jusqu'à  $10^8$  alors qu'il était de  $10^7$  dans le dispositif connu.

L'un des faits, les plus importants qui déterminent le fonctionnement des systèmes ultrasonores est le contact acoustique entre le transducteur et l'émetteur. Dans les dispositifs de durcissement des pièces à l'aide d'ultrasons, les émetteurs sont réalisés interchangeables et sont reliés aux transducteurs au moyen d'une liaison filetée. Pour la transmission de la puissance acoustique nécessaire de l'ordre de 1-2 KW, ainsi que l'on montré les recherches du Demandeur, il est indispensable que la surface de contact (d'applications) ne soit pas inférieure à 80% de la surface globale de contact du transducteur et de l'émetteur. Lors d'un contact inférieur à 85%, on n'atteint pas sur l'émetteur une amplitude d'oscillations supérieure à 100  $\mu\text{m}$ , ce qui réduit fortement le coefficient d'utilisation du dispositif.

Lors du déplacement de l'émetteur selon un relief complexe d'une surface d'une pièce, il est nécessaire de disposer d'une chambre de travail fermée de façon étanche.

Dans les dispositifs connus, le traitement de motifs plans ou dans l'espace, était assuré sans déplacement de l'émetteur, c'est à dire en position statique de ce dernier. Pour chaque zone, il était indispensable de réaliser une chambre de travail sous forme d'un tuyau creux à l'une des extrémités duquel était ménagé un relief reproduisant la forme de la surface soumise au traitement, ce qui pour des surfaces importantes et de relief complexe était très compliqué et quelquefois pratiquement irréalisable.

Dans la présente invention, on propose un dispositif qui permet de traiter n'importe quelle surface du fait que la chambre de travail est réalisée sous forme d'un tuyau creux reproduisant selon son périmètre le contour de l'extrémité de travail de l'émetteur avec des parois réalisées au moyen de tiges montées élastiquement

qui permettent lors du déplacement de l'émetteur, avec la chambre de travail, de reproduire le relief de la surface soumise au durcissement.

11. Dans le dispositif connu, le durcissement de  
5 la surface intérieure des pièces creuses, l'émetteur est  
disposé de façon horizontale et en face de lui on place un  
réflecteur. Une telle construction est très complexe. En  
outre, lors du traitement de pièces creuses de grands  
10 diamètres, les billes peuvent ne pas être reprises par le  
champ acoustique et rester partiellement à la partie  
inférieure de la surface interne de la pièce, ce qui  
réduit fortement le rendement du processus. De plus, lors  
du traitement de pièces relativement longues avec des  
15 orifices minces, l'émetteur plie sous l'effet de son  
propre poids et entre en contact avec la surface traitée,  
ce qui entraîne des brûlures, c'est à dire une détériora-  
tion de la qualité du traitement.

Selon la présente invention, l'émetteur est  
disposé de façon verticale. Dans ce cas, les billes sont  
20 mises en mouvement pour pratiquement n'importe quelle  
intensité d'oscillations et l'émetteur n'entre pas en  
contact avec la pièce, car il ne plie pas sous l'effet de  
son propre poids.

En outre, il est proposé de relier en une seule  
25 pièce, l'émetteur et le réflecteur en réalisant des gorges  
à l'extrémité de travail de l'émetteur, à une distance de  
cette extrémité égale à 0,04 à 0,05 de la longueur d'ondes  
 $\lambda_1$  de l'ultrason dans le matériau de l'émetteur.

Si la distance à l'extrémité est inférieure à  
30 0,04  $\lambda_1$ , alors a lieu une destruction rapide de la barriè-  
re, tandis que si cette distance est supérieure à 0,05  $\lambda_1$ ,  
les contraintes de signes variables qui se produisent dans  
la section réduite, entraînent une destruction par la  
fatigue du matériau à l'emplacement de la gorge.

La profondeur de la gorge est choisie comprise entre 0,2 et 0,3 des dimensions transversales de l'émetteur  $D_0$ . Avec une profondeur supérieure à 0,3  $D_0$  dans la gorge a lieu une destruction par la fatigue de l'émetteur 5 et avec une profondeur à 0,2  $D$ , il est impossible d'introduire des billes ayant la masse nécessaire. La largeur de la gorge est donnée égale à  $\lambda_2/2$  où  $\lambda_2$  est la longueur d'ondes de l'ultrason dans le milieu gazeux dans lequel a lieu le traitement.

10 Avec une colonne de gaz égale à  $\lambda_2/2$  se créent des conditions optimales pour le développement de courants acoustiques et d'une pression de rayonnement.

Au fond de la gorge est ménagé un évidement pour recevoir une masse optimale de billes.

15 Le Demandeur a établi que si le volume libre de la chambre de travail est  $V_0$ , alors la masse optimale de billes sera  $M = 2V_0R_0/\alpha A_0$  où  $\alpha = (1,7-2,3 \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{g}$ , coefficient de proportionnalité.

20 Etant donné que dans l'émetteur proposé, le volume libre est constitué par le volume de la gorge, alors :

$$25 M_1 = 8,4 \cdot 10^2 \frac{S_0 \lambda_2 R_0}{K} \quad (17)$$

où  $K = 1,7-2,3 \cdot 10^2 \text{ cm}^4/\text{g}$ . Ici, on prend  $A_0 = 10 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$ , ce qui est l'amplitude minimale pour laquelle le processus de durcissement a lieu.

30 Les dispositifs connus ne permettent pas de traiter des orifices borgnes.

Dans le dispositif suivant l'invention, à l'extrémité de travail de l'émetteur, est réalisé un évidement sphérique pour la réception de billes d'acier d'une masse :

$$35 M_2 = 10^3 \lambda_2 S_0 R_0 / K \quad (18)$$

tandis que l'extrémité proprement dite est placée à une distance égale à  $\lambda_2/2$  pour créer des conditions optimales

de développement des courants et de la pression de rayonnement.

Dans ce cas, le volume libre est constitué par le volume entre l'extrémité de travail ayant une surface 5  $S_0$ , et la surface traitée c'est à dire  $S_0 \times \lambda^2/2$ .

On va maintenant exposer un exemple concret de mise en oeuvre de l'invention.

1-4. On demande par exemple de traiter la surface d'une pièce en acier 35XN2MFA-CH (appellation 10 russe) ayant subi un traitement thermique jusqu'à une dureté HRC 50-51 (trempe à 860°C dans de l'huile et revenu à 200°C pendant deux heures). Après le traitement thermique, on obtient un acier ayant les propriétés mécaniques suivantes :

15  $80,2 = 1630 \text{ MPa}$ ,  $\delta B = 1960 \text{ MPa}$  (limite de dureté).

Le traitement a été réalisé à l'aide de billes de rayon  $R_0 = 0,05 \text{ cm}$ , avec une amplitude de déplacement  $A_0 = 20\mu\text{m} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$  avec une fréquence d'oscillations  $f_0 = 17,5 \text{ KHz}$ ,  $L = 1,0 \text{ cm}$ ,  $S_0 \approx S_1 = 38 \text{ cm}^2$ . Le diamètre de 20 l'émetteur est  $D = 7,0 \text{ cm}$  ou bien ce radiateur est de section carrée ayant un côté  $A_i = 6,2 \text{ cm}$ ,  $n = 10^3$  billes.

Conformément à l'expression analytique 2 pour le traitement régulier, il est indispensable de communiquer 25 au radiateur, une vitesse  $V_i =$

$$4 \cdot 10^2 \frac{7,0 \text{ cm} (2 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ cm} \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ s})^2 \cdot 10^3}{1,0 \text{ cm} \cdot 76 \text{ cm}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ s/cm} = 2,4 \text{ cm/s}$$

Une vérification expérimentale montre qu'en 30 effet avec la vitesse indiquée, on obtient un traitement régulier d'une bande de 7,0 cm de largeur dans l'acier indiqué.

Il est ensuite nécessaire de créer une rugosité  $R_a = 1,0 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{ cm}$ .

Selon l'expression analytique (4), il est indispensable pour se faire de communiquer au radiateur une vitesse égale à :

$$5 \quad VR_a = 64 \quad \frac{7,0 \text{cm} \cdot 10^3 \cdot 10^{-8} \text{cm}}{1,0 \text{cm} \cdot 76 \text{cm}^2 \cdot 2,2} \cdot 10^5 \text{ cm/s} = 2,7 \text{ cm/s}$$

L'amplitude des oscillations doit alors être égale :

$$10 \quad A_0 = 0,4 \quad \frac{10^{-4} \text{ cm}}{5 \cdot 10^{-2} \text{cm} \cdot 17,5 \cdot 10^3 \cdot 1/\text{s} \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{cm} = 20 \mu\text{m}$$

Ainsi que l'a montré une vérification expérimentale, pour la création d'une rugosité,  $R_a \approx 1,0 \mu\text{m}$  à la surface d'une pièce réalisée dans l'acier indiqué plus haut, il était indispensable de communiquer au radiateur une vitesse de l'ordre de 2,7 cm/s et à son extrémité de travail, une amplitude d'oscillations de 20  $\mu\text{m}$

On suppose exiger ensuite la création d'une couche durcie ayant une profondeur de par exemple  $h_0 = 150 \mu\text{m} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{cm}$ .

Alors, selon l'expression analytique (6), il est indispensable de communiquer au radiateur une vitesse :

$$25 \quad V_{iho} = 0,2 \quad \frac{7,0 \text{cm} \cdot 10^3 \cdot 1,5^4 \cdot 10^{-8} \text{cm}^4}{1,0 \text{cm} \cdot 76 \text{cm}^2 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm}} = 27,3 \text{cm/s}$$

L'amplitude des oscillations devant alors être :

$$30 \quad A_0 = \frac{2,25 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2}{42 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{cm}^2 \cdot 17,5 \cdot 10^3 \cdot 1/\text{s} \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm}} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{cm} = 55 \mu\text{m}$$

Ainsi qu'il en résulte des valeurs numériques obtenues, pour la création d'une profondeur relativement importante de la couche durcie à l'aide de billes aussi petites ( $R_0 = 0,05 \text{ cm}$ ) sur un acier très dur, une amplitude d'oscillations et une vitesse de déplacements importantes sont exigées.

Une vérification expérimentale a confirmé l'exactitude de la déduction analytique des paramètres de traitement.

5-7. On suppose ensuite qu'il y ait lieu de traiter une surface d'un arbre de diamètre constant  $D_0 = 30$  cm réalisé en acier du type indiqué plus haut. Les paramètres de traitement seront pris identiques à ceux utilisés dans les opérations précédentes.

Ainsi qu'il résulte des expressions analytiques 10 (9) et (10), pour un durcissement uniforme de toute la surface de l'arbre, il est indispensable de communiquer au radiateur une vitesse de translation :

$$V_{io} = 4 \cdot 10^2 \frac{38 \text{cm}^2 \cdot 3,0 \text{cm}^4/\text{s}^2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,0 \text{cm} \cdot 30 \text{cm} \cdot 76 \text{cm}^2} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm} = 0,14 \text{cm/s}$$

15 et de faire tourner la pièce avec une vitesse angulaire :

$$\omega_0 = 8 \cdot 10^2 \frac{7,0 \text{cm} \cdot 3,0 \text{cm}^4/\text{s}^2 \cdot 10^3}{30 \text{cm} \cdot 1,0 \text{cm} \cdot 76 \text{cm}^2} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm} = 0,16 \text{ 1/s}$$

20 Si les vitesses  $V_{io}$  et  $\omega_0$  ne conviennent pas pour le rendement du processus, elles peuvent être considérablement accrues par augmentation de l'amplitude d'oscillations  $A_0$ , par exemple de 20  $\mu\text{m}$  comme dans l'exemple précédent, jusqu'à 80  $\mu\text{m}$ . Alors les vitesses  $V_{io}$  et  $\omega_0$  seront 25 respectivement de 2,24 cm/s et de 2,56 1/s.

Le rendement du processus peut être accru en réduisant la distance  $L$ , par exemple de 1,0 cm à 0,5 cm. Alors les vitesses  $V_{io}$  et  $\omega_0$  augmentent respectivement deux fois.

30 Le procédé suivant l'invention permet de traiter, c'est à dire de durcir ou de créer une rugosité superficielle déterminée, non seulement d'arbre de section constante, mais également d'arbres présentant des variations de section transversale quelconques, par exemple 35 coniques. Dans ce cas, le diamètre varie selon la longueur par exemple d'après la relation :

$$D(x) = D_0(1-x/l) = D_0 \psi(x)$$

où  $l$  est la longueur axiale du cône,  $\psi(x) = (1-x/l)$  est une fonction sans dimension,  $D_0$  est le diamètre à l'extrémité du cône, pour  $x = 0$ .

Si par exemple,  $D_0 = 30 \text{ cm}$  et  $l = 100 \text{ cm}$ , alors 5 lors du traitement pour  $A_0 = 20 \mu\text{m}$  et  $R_0 = 0,05 \text{ cm}$ , les vitesses  $V_{io} = 0,14 \text{ cm/s}$  et  $\omega_0 = 0,16 \text{ 1/s}$  sont données constantes et l'amplitude d'oscillations est réduite en fonction de la distance de l'extrémité  $X = 0$  selon la relation  $A(x) = 20 \sqrt{1-x/100 \mu\text{m}}$ . D'une manière analogue, en 10 laissant constants  $A_0 = 20 \mu\text{m}$ ,  $V_{io} = 0,14 \text{ cm/s}$ ,  $\omega_0 = 0,16 \text{ 1/s}$  et  $L_0 = 1,0 \text{ cm}$  pour un traitement régulier du cône, il est possible d'accroître la distance entre l'émetteur et la pièce selon la relation ;

$$L(x) = 1,0 \sqrt{1-x/100} \text{ cm}$$

15 mais dans des limites raisonnables, sans discontinuité mathématique ; c'est à dire par exemple à partir de la dernière expression, il s'ensuit que pour  $x = 100$ , la distance doit être accrue à l'infini. Simplement, il faut tenir compte du fait que le rayon final du cône, n'est 20 pratiquement jamais égal à 0.

Il y a lieu de remarquer que lors du traitement de corps de révolution de section variable, il est possible de programmer l'amplitude d'oscillations  $A$  ou la distance  $L$ , non pas d'après la distance  $x$ , mais d'après le 25 temps et sous la forme des relations :

$$\psi(\tau) = \psi(V_{io}\tau/l)$$

où  $V_{io}$  est la vitesse de translation de la source. Pour un cône, par exemple :

$$A(\tau) = A_0 \sqrt{1 - 0,14 \cdot \tau/100} \mu\text{m}$$

$$30 \quad L(x) = L_0 \sqrt{1 - 0,14 \cdot x/100} \mu\text{m}$$

6. Pour la vérification du point relatif à l'admission des gaz dans la chambre de travail, on a réalisé un traitement par ultrasons d'échantillons en acier indiqué au paragraphe 1.4. Après traitement, on a pratiqué des épreuves de résistance à la fatigue par chocs 35

successifs avec une fréquence de 620 chocs/mn et un coefficient d'asymétrie du cycle  $r = 0$  avec une pression cyclique de 2100 MPa. La mise sous contrainte était réalisée sous la forme d'une courbure unilatérale de 5 l'échantillon disposé sur deux appuis au moyen d'une charge concentrée. On utilisait des échantillons avec une entaille ouverte, l'angle d'ouverture étant de 90°.

Régime de traitement des échantillons :

$R_0 = 0,05 \text{ cm}$ ,  $f_0 = 17,5 \text{ KHz}$ ,  $n = 1000 \text{ pièces}$ ,  $A_0 = 60 \mu\text{m}$ ,  
10  $L = 1,0 \text{ cm}$ .

Dans une chambre de travail sous une pression de 1,2 ATM, on introduisait divers gaz; de l'air, du gaz carbonique (oxyde de carbone), du propane ou de l'argon.

Les résultats des expériences sont présentés 15 dans le tableau annexé.

De ce tableau, il résulte que la durée de vie de l'acier 35XN2MFA précité après traitement dans une atmosphère de gaz carbonique est supérieure de 20 à 40% à celle résultant du traitement dans une atmosphère d'air, en 20 outre le temps de traitement est réduit de 20 à 50%, c'est à dire que le rendement du traitement augmente.

Les résultats analogues mais moins importants, sont observés lors du traitement dans un mélange air-gaz carbonique, dans lequel  $\rho > 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ ,  $\mu < 185 \mu\text{P}$ ,  $C < 3,31 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ .

Lors du traitement dans du propane ou de l'argon, dont la viscosité est supérieure à celle du gaz carbonique et de l'air, il y a également réduction du temps de traitement et on observe une certaine augmentation de la durée de vie des pièces. Cependant, ces gaz sont plus onéreux et certains sont dangereux du fait de 30 leur caractère explosif (propane).

Ainsi, le traitement ultrasonore dans les gaz proposés, présente par rapport au procédé connu, les 35 avantages suivants :

- pour une puissance de l'équipement ultrasonore identique, on obtient une intensité plus importante du durcissement;

5 - pour une intensité de durcissement identique, une amplitude moindre est exigée à la sortie de l'émetteur, ce qui assure une dépense moindre d'énergie, une meilleure fiabilité et une durée de vie accrue des systèmes ultrasonores, étant donné qu'ils fonctionnent avec des contraintes cycliques moins importantes.

10 7. On a procédé à un traitement d'engrenages à dents obliques et à dents droites, en acier 30X13,45 et 40X. Avant le traitement ultrasonore, les engrenages étaient réalisés (mécaniquement) et traités thermiquement conformément à une documentation de construction et de 15 technologie, c'est à dire que le traitement ultrasonore constituait une finition.

Le schéma du traitement des pignons est représenté à la Fig.3.

20 Les régimes de traitement correspondaient aux régimes décrits dans les exemples précédents :

$$f_0 = 17,5 \text{ KHz}, A_0 = 60 \mu\text{m}, R_0 = 0,05 \text{ cm}, L = 1,0 \text{ cm}.$$

25 Les pignons tournaient sous l'action du champ ultrasonore du fait du décalage de l'axe de rotation du pignon (Fig.3). Dans la chambre était ajoutée une poudre de matière plastique fluorée de dimensions de particules égales à 1 à 60 $\mu\text{m}$  et de masse globale égale à 0,05g.

30 Après traitement ultrasonore, les pignons étaient assemblés dans le réducteur d'une pompe. La mesure du bruit global des vibrations a montré un niveau de -60 dB (décibels). Sans traitement ultrasonore, le niveau de bruit était de 80 dB. Ainsi, le traitement ultrasonore avec introduction dans la chambre de travail d'une poudre par exemple de matière plastique fluorée a permis de réduire le niveau de bruit de 20 décibels, alors que le 35 décalage de l'axe du pignon par rapport au radiateur a

permis de le faire tourner sans dispositif supplémentaire, ni énergie.

5 8. La chambre de travail 4 (Fig.1) est réalisée au moyen de tiges montées sur des ressorts, de 0,5 cm de diamètre et ayant une course libre de 5,0 cm, ce qui permet de traiter des surfaces ayant des variations de relief de 5,0 cm.

10 L'émetteur est réalisé à partir de pièces forgées en alliage de titane qui étaient au préalable recuites à une température de  $920^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$  pendant 4 à 5 heures, puis elles étaient refroidies avec le four jusqu'à  $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$  et étaient maintenues pendant deux heures et étaient définitivement refroidies à l'air libre.

15 L'émetteur était réalisé selon les côtes mais avec une augmentation de dimensions de 0,05 à 0,1 cm de chaque côté et sans réalisation de filetage. Ensuite, l'émetteur est soumis à un recuit à  $540^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$  pendant 2 à 2,5 heures après quoi, il est réalisé de façon précise conformément à son dessin avec réalisation du filetage.

20 Par exemple, il est indispensable de réaliser un émetteur de diamètre  $D_0 = 3,0\text{cm}$ . Dans ce cas, à une distance de son extrémité de travail  $l = (0,04 \text{ à } 0,05)\lambda_1 = 1,16 \text{ à } 1,45 \text{ cm}$  où,  $\lambda_1 = 29,0 \text{ cm}$  est la longueur d'ondes de l'ultrason d'une fréquence de 17,5 KHz dans un alliage de titane, on réalise une gorge. La largeur de cette gorge est choisie en fonction de la composition du milieu gazeux dans lequel est conduit le traitement. Dans le cas présent, le traitement est conduit dans un milieu de bioxyde de carbone (gaz carbonique) dans lequel  $\lambda_2 = 1,6 \text{ cm}$ , de sorte que la largeur de la gorge est de 0,8 cm. La profondeur de la gorge doit être comprise dans les limites (0,2 à 0,3)  $D_0 = (0,6 \text{ à } 0,9) \text{ cm}$ , dans le cas présent, elle est de 0,7 cm. Pour la détermination de l'évidement dans la partie inférieure de la gorge, on utilise l'expression analytique (7), étant donné que le traitement est réalisé

au moyen de billes de rayons  $R_0 = 0,05 \text{ cm}$ , leur masse se trouvant dans l'évidement est :

$$5 \quad M_1 = 8,4 \cdot 10^2 \frac{7,0 \text{ cm}^2 \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 0,05 \text{ cm}}{2,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^4 / \text{g}} \approx 2,3 \text{ g}$$

le nombre de billes indispensable pour le traitement est :

$$10 \quad n = \frac{M_1}{m_1} = \frac{2,3 \text{ g}}{4,0 \cdot 10^{-3} \text{ g}} = 575 \text{ billes}$$

où  $m_1 = 4/3 \pi R_0^3 \rho$  est la masse d'une bille.

Le volume global occupé par 575 billes de rayon  $R_0 = 0,05 \text{ cm}$  est :

$$15 \quad V_1 = n \cdot 8R_0^3 = 0,57 \text{ cm}^3$$

Ainsi, le volume global de l'évidement doit être de  $0,57 \text{ cm}^3$ .

Dans le cas présent, cet évidement est semi-annulaire de rayon :

$$r = 1/\pi \sqrt{2V_1/D_0} = 0,2 \text{ cm}$$

20 Pour la détermination de l'évidement dans l'extrémité de travail de l'émetteur, on utilise la relation analytique (18).

La masse des billes indispensable pour le traitement d'orifices borgnes est :

$$25 \quad M_2 = 10^3 \frac{7,0 \text{ cm}^2 \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 0,05 \text{ cm}}{2,0 \cdot 10^2 \text{ cm}^4 / \text{g}} \approx 2,5 \text{ g}$$

et le nombre de billes  $n = 675$  billes.

Le volume global occupé par ces billes est  $V_2 = 0,68 \text{ cm}^3$ .

Ainsi, à l'extrémité de travail de la source de rayonnement, doit être pratiqué un évidement de  $0,68 \text{ cm}^3$  de volume. L'évidement le plus pratique est un évidement sphérique dont le rayon est égal au rayon de l'émetteur, en l'occurrence  $D_0 = 3,0 \text{ cm}$  avec une flèche de segment  $h = 0,3 \text{ cm}$ . Le schéma de l'émetteur est donné aux Fig.1 à 3.

On a traité un moule de moulage sous pression ayant des dimensions de  $34,0 \times 42,0 \text{ cm}$  et un relief en

saillie avec des variations de hauteur de 3,5 cm réalisé en un acier du type donné au paragraphe 1.

Régime de traitement :  $f_0 = 17,5$  KHz,  $R_0 = 0,05$  cm,  $A_0 = 60 \cdot 10^{-4}$  cm, milieu gazeux bioxyde de carbone,  $L = 5$  0,8 cm, diamètre de l'émetteur  $D_0 = 7,0$  cm.

Le traitement était conduit de la manière suivante :

Dans la chambre de travail 4 de la Fig.1, étaient disposées des billes de masse globale :

$$10 \quad M_0 = \frac{38 \text{cm}^2 \cdot 0,8 \text{cm} \cdot 2,0 \cdot 0,05 \text{cm}}{2 \cdot 10^2 \cdot 60 \cdot 10^{-4} \text{cm}^3/\text{g}} = 2,5 \text{g}$$

soit un nombre  $n = 625$  pièces.

15 La pièce 12 (moule) est disposée au-dessus du radiateur 2, comme cela est représenté à la Fig.1.

20 Le système ultrasonore comprenant le transducteur 1 et l'émetteur 2 est accordé pour une fréquence de résonance de 17,5 KHz selon le maximum du courant de sortie du générateur d'ultrasons. Ensuite, par régulation de la puissance électrique de sortie du générateur, on établit une amplitude d'oscillations  $A_0 = 60 \cdot 10^{-4}$  cm, après quoi, on communique au radiateur, au moyen du mécanisme 6, une vitesse dans la direction de traitement (2) :

25

$$30 \quad v_i = 4,10^2 \frac{7,0 \text{cm} (60 \cdot 10^{-4} \text{cm} \cdot 0,05 \text{cm} \cdot 17,5 \cdot 10^3 \text{1/s})^2 \cdot 625}{1,0 \text{cm} \cdot 76 \text{cm}^2} \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \text{s/cm} \approx 14,0 \text{ cm/s}$$

Etant donné que le moule présente une longueur de 34cm, le traitement d'une bande d'une largeur  $D_0 = 7,0$  cm et de 42 cm de longueur prend un temps  $\tau = 42 \text{cm}/14,0 \text{ cm/s} = 3,0 \text{s}$ . Ensuite, à l'aide du mécanisme 6, l'émetteur passe sur le secteur de 7 cm suivant. En résultat, on a

réalisé  $34,0 \text{ cm} / 7,0 \text{ cm} = 5$  bandes, et tout le traitement du moule a pris 15 secondes.

Après le traitement ultrasonore, à l'aide du dispositif suivant l'invention, la stabilité du moule 5 c'est accrue de 2 à 3 fois.

Bien que dans la description qui précède, on utilise des billes d'acier, il est également possible d'envisager l'emploi de billes en un autre métal de dureté appropriée.

10 Par ailleurs, bien que dans les exemples décrits précédemment, le procédé et le dispositif de l'invention soient considérés comme appliqués au durcissement superficiel de pièces métalliques, ils peuvent également être utilisés pour des applications telles que le nettoyage et 15 le décapage de pièces.

TABLEAU

Influences des conditions du traitement ultrasonore  
sur la durée de vie des pièces.

Paramètres du milieu et régimes de traitement	Massé spécifique g/cm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	Vitesse du son cm/s x 10 <sup>-4</sup>	Viscosité δP	Temps de traitement min	Durée de vie/ nombre de cycles avant des- truction avec δ=2100MPa acier 35XN2MFA
Milieu dans la chambre de travail					
avant traitement	néant	néant	néant	néant	4x10 <sup>3</sup>
air/air antérieur	1,29	3,31	185	2,5	(7,0-8,0)x10 <sup>3</sup>
gaz carbonique/ procédé de l'invention					
propane	1,85	2,77	145	1,5	(1,0-1,3)x10 <sup>4</sup>
argon	1,90	2,48	200	1,8	(8,0-8,5)x10 <sup>3</sup>
	1,78	2,50	225	1,9	(9,0-9,5)x10 <sup>3</sup>

REVENDICATIONS

1. Procédé de durcissement de surfaces de pièces métalliques au moyen d'ultrasons, comprenant un traitement au moyen de billes de métal (10) qui reçoivent de l'énergie d'un champ ultrasonore prenant naissance dans un espace fermé entre les surfaces d'un émetteur acoustique (2), d'une pièce (12) et d'une chambre de travail (4) remplie d'un milieu gazeux déterminé et un déplacement relatif entre la pièce (12) et l'émetteur (2) assuré de manière déterminée, caractérisé en ce que dans le but d'accroître le rendement du processus et d'élargir les possibilités technologiques du traitement des surfaces de pièces de grandes dimensions et de profil complexe, ainsi que de la création de propriétés mécaniques déterminées de la surface à durcir, le déplacement relatif est assuré en communiquant au radiateur (2) une vitesse déterminée dans trois directions perpendiculaires les unes aux autres.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que lors du traitement de surfaces essentiellement planes, dans le but d'améliorer la qualité par création d'une couche durcie uniforme sur toute la surface de la pièce, on communique au radiateur (2) une vitesse de valeur :

$$V_i = 4 \cdot 10^2 \frac{a_i (A_0 R_0 f_0)^2 n}{L (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}}$$

où  $i = 1, 2, 3$  sont les numéros des directions perpendiculaires selon les plans,  $a_i$  est la dimension linéaire de la source de rayonnement dans la direction  $i$  (cm),  $R_0$  est le rayon des billes (cm),  $A_0$  est l'amplitude des oscillations de la surface de l'émetteur,  $f_0$  est la fréquence d'oscillation de la source de rayonnement,  $\delta_{0,2}$  est la limite de fluage du matériau de la pièce traitée en  $\text{kgf/cm}^2$ ,  $\rho$  est la masse spécifique du matériau d'une bille (10) en  $\text{g/cm}^3$ ,  $n$  est le nombre de billes dans le champ ultrasonore (nombre sans dimension),  $S_0$  est la valeur de la surface oscillante de l'émetteur (2) se trouvant dans la chambre de travail

(cm<sup>2</sup>), S<sub>1</sub> est la valeur de la surface de la pièce (12) se trouvant immédiatement au-dessus de l'émetteur (cm<sup>2</sup>), L est la distance entre la surface rayonnante et la surface de la pièce (cm).

5 3. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que dans le but de créer une rugosité déterminée de la surface, on communique à l'émetteur (2) une vitesse égale à :

$$10 V_{iRa} = \frac{64 a_{in} R_a^2}{L (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}}$$

l'amplitude des oscillations de l'émetteur (2) étant rendue égale à :

$$A_0 = 0,4 \frac{R_a}{R_0 f_0} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}}$$

15 où R<sub>a</sub> est l'écart arithmétique moyen du profil de la surface-rugosité (cm).

4. Procédé suivant la revendication 2, caractérisé en ce que dans le but d'obtenir une profondeur déterminée de la couche durcie, on communique à l'émetteur (2) une vitesse égale à :

$$V_{iho} = 0,2 \frac{a_i n h_0^4}{L (S_0 + S_1) R_0^2} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}}$$

l'amplitude des oscillations de l'émetteur étant rendue égale à :

$$25 A_0 = \frac{h_0^2}{42 \cdot R_0^2 f_0} \sqrt{\frac{\delta_{0,2}}{\rho}}$$

où h<sub>0</sub> est la profondeur de consigne de la couche durcie (cm).

5. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que lors du traitement de surfaces de pièces, essentiellement de corps de révolution, dans le but d'améliorer la qualité par création d'une couche durcie uniforme sur toute la surface de la pièce, on communique à l'émetteur (2) une vitesse de translation en modifiant sa valeur le long de l'axe selon la relation :

$$V_i(x) = 4 \cdot 10^2 \frac{S_0 (A_0 R_0 f_0)^2 n}{\pi L D_0 \psi(x) (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}}$$

la pièce étant entraînée en rotation en modifiant sa vitesse angulaire selon la relation :

$$\omega(x) = 8 \cdot 10^2 \frac{b_i (A_0 R_0 f_0)^2 \cdot n}{D_0 \psi(x) \cdot L \cdot (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}}$$

5 où  $D = D_0 \psi(x)$  est le diamètre variable de la pièce le long de son axe  $x$ ,  $D_0$  est le diamètre de l'extrémité à partir de laquelle commence le traitement c'est-à-dire pour  $x = 0$ ,  $\psi(x)$  est une fonction sans dimension de variation du diamètre,  $b_i$  sont les dimensions linéaires de l'émetteur  
10 (2) dans la direction de la rotation (cm).

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce que le traitement est assuré avec des vitesses constantes de déplacement de la source et de rotation de la pièce respectivement :

$$15 V_{i0} = 4 \cdot 10^2 \frac{S_0 (A_0 R_0 f_0)^2 \cdot n}{(S_0 + S_1) \pi D_0} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}}$$

$$\text{et } \omega_0 = 8 \cdot 10^2 \frac{b_i (A_0 R_0 f_0)^2 \cdot n}{D_{0L} (S_0 + S_1)} \sqrt{\frac{\rho}{\delta_{0,2}}}$$

20 tandis que dans le processus de traitement on modifie l'amplitude des oscillations en fonction de la distance  $x$  par rapport à l'extrémité de la pièce selon la relation:

$$A(x) = A_0 \sqrt{\psi(x)}$$

où  $A_0$  est l'amplitude des oscillations de l'émetteur (2),  
25 lors du traitement à l'extrémité de la pièce c'est-à-dire  $x = 0$ .

7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce que le traitement est assuré avec des vitesses constantes de déplacement de la source  $V_{i0}$ , de rotation  $\omega_0$   
30 et une amplitude d'oscillations  $A_0$  tandis que dans le processus de traitement on modifie la distance entre la surface de l'extrémité de travail de l'émetteur (2) et la surface de la pièce selon la relation :

$$35 L(x) = L_0 \frac{1}{\psi(x)}$$

où  $L_0$  est la distance entre l'émetteur (2) et la pièce (12) lors du traitement à l'extrémité de la pièce c'est-à-dire pour  $x = 0$ .

8. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce que dans le but d'accroître le rendement du processus par accroissement de rayonnement acoustique et de la vitesse des courants acoustiques dans la chambre de travail (4) ainsi que par réduction de la résistance au déplacement des billes (11) dans le milieu gazeux, le traitement ultrasonore est réalisé avec introduction d'un milieu gazeux ayant une masse spécifique supérieure à  $1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ , une viscosité inférieure à  $185 \mu\text{P}$  et une vitesse du son inférieure à  $3,31 \cdot 10^4 \text{ cm/s}$ , par exemple du bioxyde de carbone.

9. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que lors du traitement essentiellement de roues dentées, dans le but d'accroître la qualité par réduction du bruit de vibration pendant l'utilisation et de réduire l'énergie utilisée lors du traitement, le traitement ultrasonore est réalisé avec admission dans la chambre de travail (4) d'une poudre (11) finement dispersée de polymères par exemple de matière plastique fluorée tandis que l'axe de rotation de la roue dentée est décalé par rapport à l'axe de l'émetteur.

10. Procédé suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les billes (10) sont en acier.

11. Dispositif pour le durcissement de surfaces de pièces métalliques par ultrasons, comprenant un transducteur (1) d'oscillations ultrasonores de type déterminé, un émetteur acoustique (2) réalisé et fabriqué en alliage de titane, disposé dans l'espace d'une manière déterminée et relié au transducteur (1) par une surface de contact (3) de valeur déterminée, une chambre de travail (4) réalisée de manière déterminée et un réflecteur (5),

caractérisé en ce que dans le but d'accroître le coefficient d'utilisation du dispositif par augmentation de l'intensité des oscillations de l'émetteur (2) et de l'élargissement des possibilités technologiques du traitement de pièces de grandes dimensions et de profil complexe, le dispositif comporte en outre un mécanisme (6) de déplacement de l'émetteur (2) dans trois dimensions perpendiculaires les unes aux autres, le transducteur (1) est réalisé en disques piézocéramiques, l'émetteur (2) est réalisé en pièces forgées en alliage de titane avec des recuits à température élevée et stabilisateurs, la liaison de l'émetteur (2) avec le transducteur (1) est réalisée par l'intermédiaire d'une surface de contact (3) qui constitue au moins 85% de la surface globale de contact tandis que la chambre de travail (4) est réalisée sous forme d'un tube creux reproduisant par son périmètre le contour de l'extrémité de travail de l'émetteur (2) avec des parois formées de tiges montées sur ressorts qui permettent lors du déplacement de l'émetteur (2) avec la chambre de travail (4) reproduisent le relief de la surface à durcir.

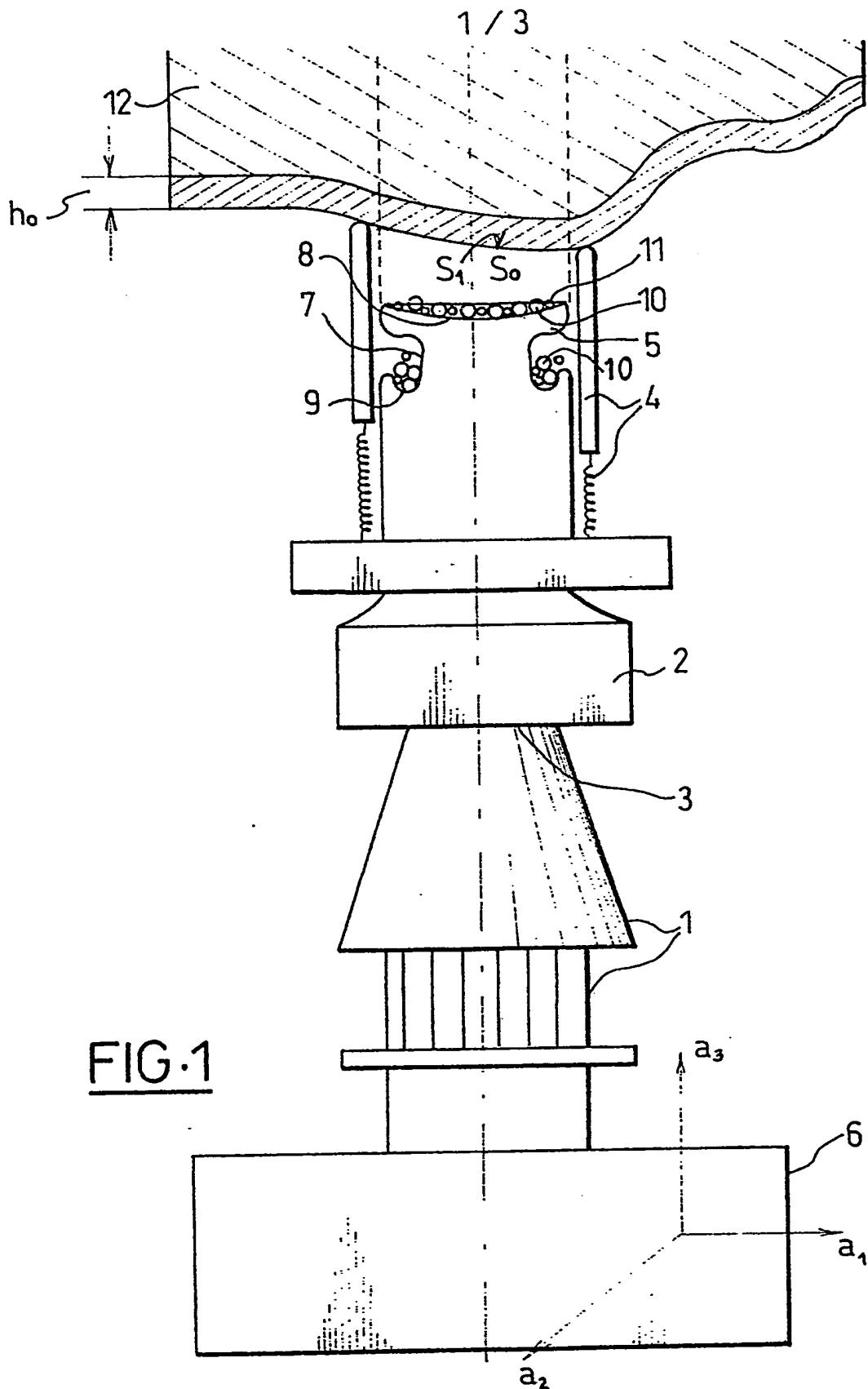
12. Dispositif suivant la revendication 11, caractérisé en ce que lors du durcissement principalement d'une surface intérieure de pièces creuses, dans le but de simplifier la construction du dispositif, l'émetteur (2) est disposé de façon verticale, l'émetteur (2) et le réflecteur (5) sont réalisés comme un tout en ménageant à l'extrémité supérieure de l'émetteur (2), à une distance de son extrémité de travail égale à 0,04 à 0,05 de la longueur d'onde  $\lambda_1$  de l'ultrason dans le matériau de l'émetteur, une gorge (7) de largeur égale à la moitié de la longueur d'onde,  $\lambda_2/2$ , de l'ultrason dans le milieu gazeux, de profondeur égale à 0,2 à 0,3 des dimensions transversales de l'émetteur (2) et ayant dans son fond un événement (9) pour loger des billes d'acier (10) de masse :

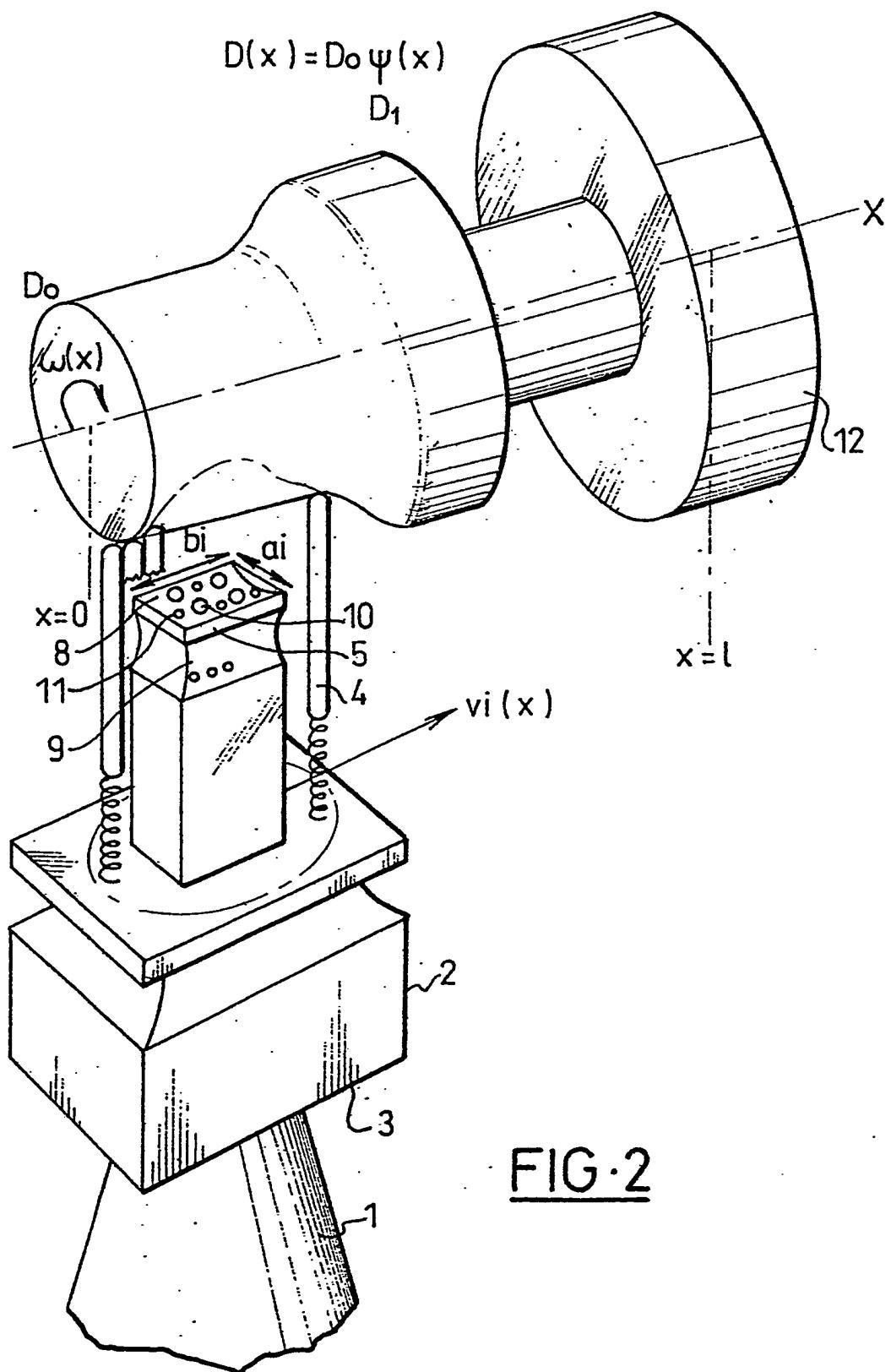
$$M_1 = 8,4 \cdot 10^2 \frac{S_0 \lambda_2 R_0}{K}$$

$$\text{où } K = 1,7-2,3 \cdot 10^2 \text{ cm}^4/2$$

5 est un coefficient de proportionnalité.

13. Dispositif suivant la revendication 12, caractérisé en ce que lors du durcissement principalement d'une surface intérieure d'une pièce creuse borgne, à l'extrémité supérieure de l'émetteur est ménagé un évidemment sphérique (8) pour la réception de billes d'acier (10) d'une masse  $M_2 = 10^3 \frac{\lambda_2 S_0 R_0}{K}$ .





## FIG. 2

3/3

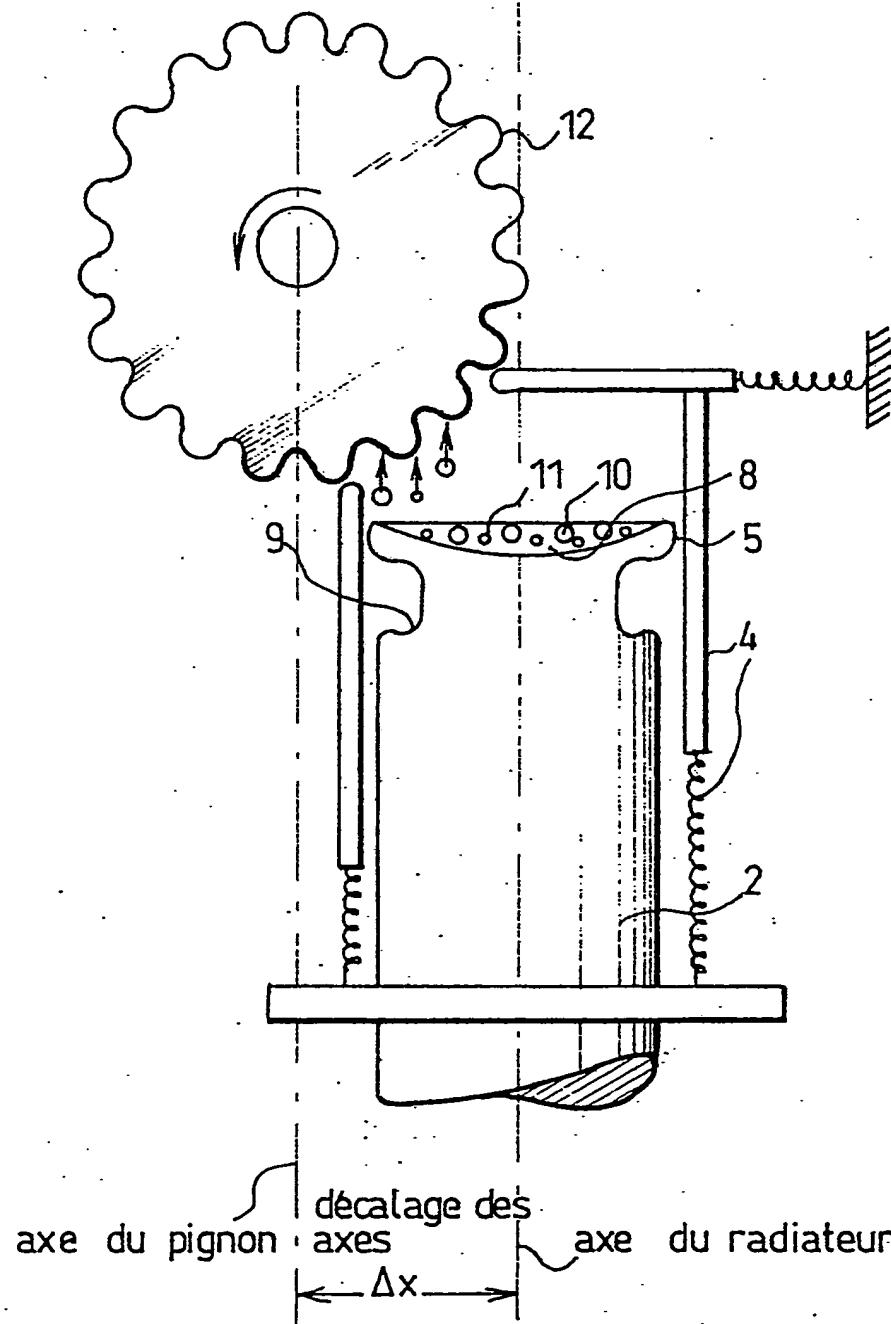


FIG.3

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	SOVIET PATENTS ABSTRACTS Section Ch, Week 8919, 21 Juin 1989 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M24, AN 89-143538 & SU-A-1 435 627 (KUZN METAL COMPLEX) 7 Novembre 1988 * abrégé * ---	1
A	SOVIET PATENTS ABSTRACTS Section Ch, Week 8942, 29 Novembre 1989 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M24, AN 89-307426 & SU-A-1 447 888 (V.A.OSTAPENKO) 30 Décembre 1988 * abrégé * ---	
A,D	SOVIET PATENTS ABSTRACTS Section Ch, Week 9212, 6 Mai 1992 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M24, AN 92-094796 & SU-A-1 655 997 (D.L.LIPSMAN) 15 Juin 1991 * abrégé * -----	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL.5)  C21D
1		
(P0413)	Date d'achèvement de la recherche 21 JANVIER 1993	Examinateur MOLLET G.H.
	CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES  X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire	T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**